

# МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПРИЧИН ВОЗГОРАНИЯ НА ОБСТАНОВКУ С ПОЖАРАМИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕГИОНА В ИНТЕРЕСАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА

**М.В. Довиденко; А.П. Корольков; А.Г. Филиппов.**  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассматривается метод оценки влияния причин возгорания на число пожаров, основанный на интервальных статистических оценках и корреляционном анализе.

*Ключевые слова:* пожарная опасность, математическая статистика, интервальные статистические оценки, выборочная дисперсия, среднее квадратическое отклонение, корреляционный анализ

## METHOD OF AN ESTIMATION OF INFLUENCE OF THE REASONS OF IGNITION ON CONDITIONS WITH FIRES AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISES OF REGION IN INTERESTS SFS

M.V. Dovidenko; A.P. Korolkov; A.G. Filippov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In article the method of an estimation of influence of the reasons of ignition on number of the fires, based on interval statistical estimations and the correlation analysis is considered.

*Key words:* fire danger, mathematical statistics, interval statistical estimations, selective dispersion, correlation analysis

Для выработки полноценных предложений по повышению эффективности органов Государственной противопожарной службы в целом и Государственного пожарного надзора, в частности, необходимо знать причины, оказывающие существенное влияние на показатели эффективности.

Зависимость степени пожарной опасности от причин носит вероятностный характер. Например, появление одной и той же причины в некоторых случаях ведет к возникновению пожара, а в других – нет. Поэтому для количественной оценки степени влияния различных причин на показатели пожарной опасности региона нужны методы математической статистики.

Авторами рассматривается метод оценки влияния причин возгорания на число пожаров, основанный на интервальных статистических оценках и корреляционном анализе. Пусть в нашем распоряжении имеются данные по причинам пожаров. В табл. 1. приведены частоты причин возникновения пожаров по годам.

В этой таблице:  $m$  – количество лет;  $n$  – количество причин;  $x_{i,j}$  – количество возгораний в  $i$ -м году по  $j$ -й причине;  $y_i$  – количество возгораний в  $i$ -м году. Найдем:

– среднее значение количества возгораний по каждой причине

$$x_{\text{ср}j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{i,j} ;$$

– выборочную дисперсию количества возгораний по каждой причине

$$S^2_j = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_{i,j} - X_{cp,i,j})^2;$$

– среднее количество возгораний по всем причинам

$$Y_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i;$$

– выборочную дисперсию количества возгораний по всем причинам

$$S^2_y = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i - Y_{cp})^2;$$

– коэффициент корреляции между количеством возгорания по каждой причине и общим количеством возгораний.

$$r(x_j, y) = \frac{1}{m-1} \frac{\sum_{i=1}^m (x_{i,j} - X_{cp,i,j})(y_i - Y_{cp})}{S_j S_y}; \quad \mathbf{1}$$

..... Таблица 1

Годы	Причины							Всего пожаров
	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	...	П <sub>n-1</sub>	П <sub>n</sub>	
1	x <sub>1,1</sub>	x <sub>1,2</sub>	x <sub>1,3</sub>	x <sub>1,4</sub>	...	x <sub>1,n-1</sub>	x <sub>1,n</sub>	y <sub>1</sub>
2	x <sub>2,1</sub>	x <sub>2,2</sub>	x <sub>2,3</sub>	x <sub>2,4</sub>	...	x <sub>2,n-1</sub>	x <sub>2,n</sub>	y <sub>2</sub>
3	x <sub>3,1</sub>	x <sub>3,2</sub>	x <sub>3,3</sub>	x <sub>3,4</sub>	...	x <sub>3,n-1</sub>	x <sub>3,n</sub>	y <sub>3</sub>
...	...	...	...	...	...	...	...	...
m	x <sub>n,1</sub>	x <sub>n,2</sub>	x <sub>n,3</sub>	x <sub>n,4</sub>	...	x <sub>m,n-1</sub>	x <sub>m,n</sub>	y <sub>m</sub>

Первичные описательные статистики причин возгораний представлены в табл. 2. Результаты вычислений, отображенные в таблице, являются величинами случайными, так как они рассчитаны на основании данных, выбранных из генеральной совокупности случайным образом.

..... Таблица 2

Статистики	Причины							По всем причинам
	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	...	П <sub>n-1</sub>	П <sub>n</sub>	
Среднее выборочное $X_{cp,j}$	$X_{cp,1}$	$X_{cp,2}$	$X_{cp,3}$	$X_{cp,4}$	...	$X_{cp,n-1}$	$X_{cp,n}$	$Y_{cp}$
Выборочное среднеквадратическое отклонение	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	...	$S_{n-1}$	$S_{jn}$	$S_y$
Коэффициент корреляции	$r(x_1, y)$	$r(x_2, y)$	$r(x_3, y)$	$r(x_4, y)$	...	$r(x_{n-1}, y)$	$r(x_n, y)$	–

Очевидно, что если из этой генеральной совокупности взять другие данные, то и статистики будут несколько другие. Поэтому, после вычисления статистик необходимо оценить вероятности того, что истинные, неизвестные нам коэффициенты корреляции отличаются от нуля и вычислить размер интервалов, внутри которых находятся неизвестные нам математические ожидания генеральных совокупностей.

Наличие связи между пожаром и причиной оценивается с помощью выборочного коэффициента корреляции, рассчитываемого по формуле (1). Однако мы установили, что этот коэффициент является величиной случайной. Поэтому в результате совпадения ряда случайных обстоятельств выборочный коэффициент корреляции может оказаться не равным нулю, в то время как истинный, неизвестный нам коэффициент равен нулю. Для контроля этого предположения мы используем методы теории проверки статистических гипотез.

Используем нулевую гипотезу ( $H_0$ ) о том, что на самом деле связи между событием, которое мы назвали причиной и пожаром нет. В формальном виде эта гипотеза записывается выражением

$$H_0: r(x, y) = 0 .$$

Альтернативная гипотеза запишется в виде

$$H_1: r(x, y) \neq 0 .$$

В математической статистике [1, 2] показано, что в качестве критерия проверки нулевой гипотезы в данном случае целесообразно использовать случайную величину

$$t = k(x, y) \frac{\sqrt{m-2}}{\sqrt{1-k(x, y)^2}} . \quad 2$$

Эта случайная величина при справедливости нулевой гипотезы, распределена по закону Стьюдента с  $k = (m - 2)$  степенями свободы, где  $m$  – объем выборки. В [2, 3, 4] показано, что принятые гипотезы проверяются с помощью критерия Фишера. Вначале определяется величина расчетного критерия Фишера по формулам:

$$F = \frac{S_x^2}{S_y^2}, \text{ если } S_x^2 > S_y^2 \text{ и , если } S_x^2 < S_y^2 . \quad 3$$

Затем определяются степени свободы  $v_1 = n-1$ ,  $v_2 = m-1$ , где  $n$  – объем выборки значений числителя,  $m$  – объем выборки значений знаменателя в формуле (3).

Затем задается уровень значимости, например  $\alpha=0,05$ . Используя вычисленные значения  $v_1$ ,  $v_2$  и  $\alpha$  определяется критическое значение критерия Фишера ( $F_{\text{крит}}$ ) по специальным таблицам или с помощью математических пакетов прикладных программ. Например, в Excel для этих целей используется функция F.ОБР.ПХ( $\alpha$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ).

Если критическое значение критерия Фишера окажется меньше расчетного, то основная гипотеза отвергается, и считается, что дисперсии случайных величин  $x$  и  $y$  различны. Тогда расчетный критерий Стьюдента определяется по формуле:

$$t_{\text{расч}} = \frac{xv - yv}{\sqrt{S_x^2 n + S_y^2 m}} ,$$

а число степеней свободы равно максимально возможному целому, меньшему, чем

$$v' = \frac{\left( \frac{S_x^2}{n} + \frac{S_y^2}{m} \right)^2}{\frac{\left( \frac{S_x^2}{n} \right)^2}{n-1} + \frac{\left( \frac{S_y^2}{m} \right)^2}{m-1}} .$$

Если критическое значение критерия Фишера окажется больше расчетного, то основная гипотеза принимается, и считается, что дисперсии случайных величин  $x$  и  $y$  одинаковы. Тогда расчетный критерий Стьюдента определяется по формуле:

$$t_{расч} = \frac{(x\bar{v} - y\bar{v})}{\sqrt{nm(n+m-2)(n+m)^{-1}Sx^2 + m^{-1}Sy^2}},$$

а число степеней свободы по формуле

$$v = n + m - 2.$$

Вычисление критического значения критерия Стьюдента осуществляется с помощью соответствующих статистических таблиц или математических пакетов. Таким образом последовательность расчетов при проверке гипотезы в отношении коэффициентов корреляции между причинами пожаров и пожарами (табл. 3) включает следующие этапы: в начале проверки выбирается уровень значимости  $\alpha$ , затем для этого уровня и числа степеней свободы  $k$  вычисляется критическое значение критерия Стьюдента  $t_{крит}$ , затем это критическое значение сравнивается с расчетным, вычисленным по формуле (2).

..... Таблица 3

Причины пожаров						
$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	...	$P_{n-1}$	$P_T$
Вычисление $T$ расчетных						
$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	...	$T_{n-1}$	$t_n$
Вычисление $T_{крит}$ для $\alpha=0,1$						
Вычисление $T_{крит}$ для $\alpha=0,05$						
Вычисление $T_{крит}$ для $\alpha=0,01$						
Сравнение $T_1$ и $T_{крит}$ , формулировка выводов для $\alpha=0,1$						
Сравнение $T_1$ и $T_{крит}$ , формулировка выводов для $\alpha=0,05$						
Сравнение $T_1$ и $T_{крит}$ , формулировка выводов для $\alpha=0,01$						

Если критическое значение критерия Стьюдента окажется больше расчетного, то принимается гипотеза  $H_0$ , если меньше, то принимается альтернативная гипотеза. О величине интервала можно судить по величине выборочного среднего и выборочного среднеквадратического отклонения. Но поскольку обе эти величины есть величины случайные, то и сам интервал – величина случайная.

Поэтому нельзя говорить о величине интервала, внутри которого находится неизвестное нам математическое ожидание. Можно только говорить о вероятности накрытия неизвестного математического ожидания данным интервалом.

Таким образом, математическое ожидание оценивается не числом, а интервалом. Такие оценки математического ожидания называются интервальными [3]. Вероятность накрытия математического ожидания интервалом называется доверительной вероятностью или надежностью интервальной оценки ( $\gamma$ ), а величина интервала – точностью ( $t_\gamma$ ). Величина  $t_\gamma$  находится из статистических таблиц или компьютерных программ по известным величинам  $m$  и  $\gamma$  (объем выборки и надежности соответственно). В математической статистике доказано, что для оценки точности и надежности интервальной оценки математического ожидания целесообразно использовать случайную величину  $t$ , которая имеет распределение Стьюдента с  $k = (m-1)$  степенями свободы:

$$t = \frac{X_{\text{ср}} - a}{\frac{S}{\sqrt{m}}}$$

где  $X_{\text{ср}}$  – выборочное среднее;  $S$  – «исправленное» выборочное среднеквадратическое отклонение;  $m$  – объем выборки;  $a$  – неизвестное математическое ожидание генеральной совокупности.

Поскольку плотность распределения Стьюдента  $S(t, m)$  – четная функция, то вероятность выполнения неравенства

$$t = \frac{X_{\text{ср}} - a}{S/\sqrt{m}} < t_{\gamma}$$

вычисляется по формуле

$$P\left(\frac{X_{\text{ср}} - a}{S/\sqrt{m}} < t_{\gamma}\right) = 2 \int_0^{t_{\gamma}} S(t, m) dt = \gamma .$$

Отсюда, выполнив элементарные преобразования, перейдем к двойному неравенству

$$P\left(X_{\text{ср}} - \frac{t_{\gamma}S}{\sqrt{m}} < a < X_{\text{ср}} + \frac{t_{\gamma}S}{\sqrt{m}}\right) = \gamma .$$

Таким образом, с помощью распределения Стьюдента мы нашли доверительный интервал  $\left(X_{\text{ср}} - \frac{t_{\gamma}S}{\sqrt{m}}, X_{\text{ср}} + \frac{t_{\gamma}S}{\sqrt{m}}\right)$ , покрывающий неизвестное нам математическое ожидание с вероятностью (надежностью)  $\gamma$ .

Задавшись надежностью  $\gamma$  и вычислив интервалы для каждой причины, мы для каждой причины возгорания найдем статистически обоснованный интервал математического ожидания числа пожаров. Сведем вычисления интервальных оценок в таблицу. В табл. 4. приведены данные о точности и надежности оценок математического ожидания. Теперь мы можем оценить минимальное и максимальное число пожаров произошедших при наличии каждой причины. Однако, вычислять интервалы мы будем только для тех причин, для которых коэффициент корреляции (1) статистически значимо отличается от нуля.

..... Таблица 4

Статистики	Причины							По всем причинам
	П <sub>1</sub>	П <sub>2</sub>	П <sub>3</sub>	П <sub>4</sub>	...	П <sub>n-1</sub>	П <sub>n</sub>	
Надежность $\gamma$								
Параметр $t_{\gamma}$ Стьюдента	$t_{1,\gamma}$	$t_{2,\gamma}$	$t_{3,\gamma}$	$t_{4,\gamma}$	...	$t_{n-1,\gamma}$	$t_{n,\gamma}$	$t_{\gamma,\gamma}$
Нижняя граница интервала	$X_{1\text{min}}$	$X_{2\text{min}}$	$X_{3\text{min}}$	$X_{4\text{min}}$	...	$X_{n-1\text{min}}$	$X_{n\text{min}}$	$Y_{\text{min}}$
Верхняя граница интервала	$X_{1\text{max}}$	$X_{2\text{max}}$	$X_{3\text{max}}$	$X_{4\text{max}}$	...	$X_{n-1\text{max}}$	$X_{n\text{max}}$	$Y_{\text{max}}$

Рассмотренный метод оценки влияния причин возгорания на число пожаров, основанный на интервальных статистических оценках и корреляционном анализе может быть использован и для оценки влияния причин на число погибших, на число травмированных и на величину материального ущерба.

### **Литература**

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2001.
3. Куватов В.И., Величко Г.А. Исследование операций. СПб.: ВМИРЭ, 2005.